

# ВЗАИМНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ АВТОГЕНЕРАТОРОВ В ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ

*А.В. Карлов (мл), А.Ю. Сарников, И.В. Стулов*

(г. Самара, Самарский государственный университет, A.V.Karlov@gmail.com)

## THE MUTUAL SYNCHRONIZATION OF SELF-OSCILLATIONS IN DISCRETE TIME

*A.V. Karlov (jr), A.Yu. Sarnikov, I.V. Stulov*

Исследования нелинейных динамических систем, функционирующих в дискретном времени (ДВ-систем), могут быть направлены на решение двух задач. Во-первых, динамика ДВ-системы при определенных условиях может качественно отражать основные свойства аналоговой системы-прототипа (НВ-системы). В этом случае уравнения движения ДВ-систем, имеющие форму дискретных отображений, приводят к сравнительно простым алгоритмам компьютерного моделирования. Во-вторых, нелинейные ДВ-системы могут демонстрировать динамические режимы, отсутствующие у НВ-прототипов. В таком случае нелинейные ДВ-системы представляют самостоятельный интерес для нелинейной динамики, теории и практики цифровой обработки сигналов.

В сообщении представлены результаты численного эксперимента в системе двух взаимосвязанных ДВ-автогенераторов. Базовый объект – автономный автогенератор с инерционной цепью амплитудного детектирования предложен в работе [1]. В соответствии с ее результатами система разностных нелинейных уравнений для взаимосвязанных автогенераторов записана в виде:

$$\begin{aligned} x_i[n] &= 2 \cos(2\pi \Omega_{0i}) \alpha_i(I_i[n]) x_i[n-1] - \alpha_i^2(I_i[n]) x_i[n-2] + \kappa_i x_j[n-1], \\ I_i[n] &= \exp(-2\pi \Omega_c) I_i[n-1] + 2\pi \Omega_c x_i^2[n-1], \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\alpha_i(I) = \exp\left(-\pi \Omega_{0i} \left(\frac{1}{Q_i} - \gamma_i(1-I)\right)\right); \quad i, j = 1, 2; \quad j \neq i.$$

Система (1) характеризуется собственными параметрами автогенераторов – частотами  $\Omega_{0i}$ , добротностями  $Q_i$  и коэффициентами глубины положительной обратной связи  $\gamma_i$ , а также – коэффициентами взаимосвязи  $\kappa_i$ . Частота среза низкочастотного фильтра  $\Omega_c$  в цепях квадратичного детектирования (параметр инерционности) у осцилляторов одинакова.

Численный эксперимент с системой (1) позволяет выявить основные закономерности взаимодействия ДВ-автогенераторов. В качестве примера приведены результаты эксперимента, проведенного в системе с параметрами  $\Omega_{01} = 0.2$ ,  $\gamma_{1,2} = 1.2$ ,  $Q_{1,2} = 20$ ,  $\kappa_1 = 0.1$ ,  $\kappa_2 = \pm 0.1$  и  $\Omega_c = 0.01$ . В ходе эксперимента собственная частота второго осциллятора монотонно увеличивалась в диапазоне  $0.17 \leq \Omega_{02} \leq 0.23$  и при этом оценивались амплитудные спектры  $X_1(\Omega)$  и  $X_2(\Omega)$  автоколебаний. На рис. 1 показаны спектрограммы (линии уровня функций  $X_1(\Omega)$ ) автоколебаний, полученные с помощью 512-точечного дискретного преобразования Фурье при изменении частоты  $\Omega_{02}$  с шагом  $\Delta\Omega_{02} = 0.0015$ . Большая яркость фрагментов тоновых изображений соответствует большей величине спектра. Рис. 1,а соответствует асимметричной взаимосвязи ( $\kappa_1 \kappa_2 < 0$ ). В этом случае наблюдается эффект взаимного захвата частот (взаимной синхронизации). Область существования эффекта отчетливо видна на рис. 1,а. Если же взаимосвязь симметрична ( $\kappa_1 \kappa_2 > 0$ ), то захвата частот не наблюдается. Спектрограмма на рис. 1,б указывает на реализацию в этом случае режима многочастотных автоколебаний (биений).

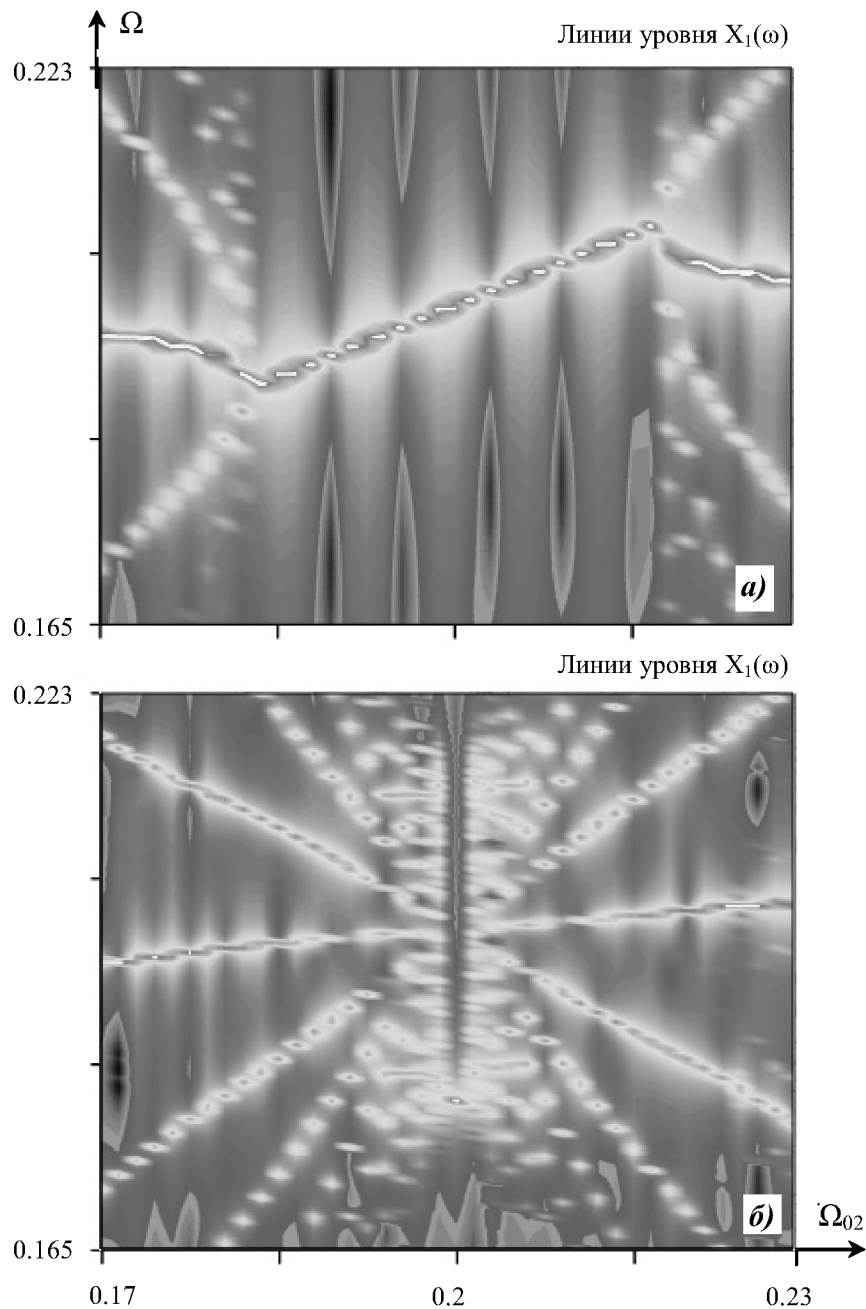


Рис. 1. Спектрограммы автоколебаний

Также установлено, что при синхронизации на третьей гармонике одного из осцилляторов в системе (1) наблюдается возбуждение связанных хаотических автоколебаний.

### Литература

1. Зайцев В.В., Карлов А.В. (мл), Карлов Ар.В. Метод эквивалентной линеаризации и алгоритм генерации ДВ-автоколебаний // Нелинейный мир. 2012. № 3. С. 169-173.